

2017/18 年寒冬と 2019/20 年暖冬の AGCM による再現実験

西井和晃（三重大学生物資源学研究所）

田口文明（富山大学都市デザイン学部）

中村尚（東京大学先端科学技術研究センター）

1. はじめに

2017/18 年の冬は西日本を中心に全国的に気温が低くなり、日本海側を中心に積雪が平年値を上回った[1]。ラニーニャ（図1上）に伴う海洋大陸付近の積雲対流活動の活発化やバレンツ・カラ海の家氷減少などが、日本付近への盛んな寒気流入の要因とされている。これとは別に、ベーリング海峡付近での海氷減少の影響も指摘されている[2]。一方、2019/20 年の冬は全国的に気温が平年より高く統計開始以降最も暖かい冬となった[3]。地球温暖化に加え、海洋大陸上での不活発な対流活動と正の北極振動による日本付近への寒気流入の弱化がこの高温の要因と指摘されている[3]。この冬は、インド洋西部と海洋大陸付近での海面水温 (SST) 偏差が顕著である。また、北太平洋では、日本の南東とアラスカの南で暖水偏差が観測されている(図1)。本研究の目的は、大気大循環モデル (AGCM) 実験に基づきこれら寒冬と暖冬への海面水温 (SST) 偏差の寄与を評価することである。

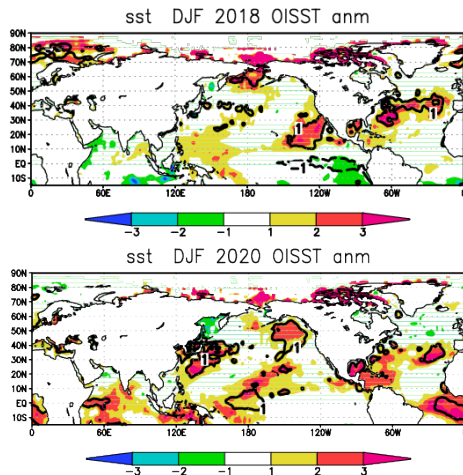


図1 2017年12月から2018年2月までの平均海面水温偏差(上)と2019年12月から2020年2月までの平均海面水温偏

差(下)。色は基準化した偏差。

2. 数値実験

AGCMとしてAFES (version 4.3)を用いる。水平解像度 T119 (約 100km), 鉛直 56 層である。NOAA OISST の SST を標準実験の下方境界条件として与えた。計算期間は2017 (2019) 年9月から2018 (2020) 年3月までである。また日別気候値 SST を与えた気候値実験も行った。気候値は1983年から2012年までの平均で定義している。それぞれの実験で初期値の異なる50メンバーの計算を行い、標準実験と気候値実験とのアンサンブル平均の差を SST 偏差への応答と定義した。さらに、熱帯(南北緯度25度以下)のみに観測 SST を与え、それ以外に気候値 SST を与えた実験(熱帯実験)、北半球中高緯度(北緯25度以北)のみに観測 SST を与えた実験(中高緯度実験)、中高緯度北太平洋のみに観測 SST を与えた実験(北太平洋実験)、中高緯度北大西洋のみに観測 SST を与えた実験(北大西洋実験)を行った。比較には JRA-55 再解析データを用いた。

3. 結果

3.1 日本周辺の気温偏差

表1に日本周辺(北緯30-45度, 東経130-145度)で領域平均した850hPa気温の冬季(DJF)平均応答と再解析データの偏差を表す。2017/18年の冬季は日本周辺で低温偏差が観測されているが、全球、熱帯のみ、中高緯度のみに観測 SST を与えた実験では有意な高温応答を示し、観測された低温偏差を再現できなかった。一方、2019/20年の冬季では観測された高温偏差を、全球、熱帯のみ、中高緯度のみに観測 SST を与えた実験で再現できている。これらの実験では、熱帯 SST 実験と中緯度 SST 実験の高温応答の大きさはほぼ

同じであり、この冬の熱帯 SST 偏差と中高緯度 SST 偏差の寄与がほぼ同等であることが示唆される。また、中高緯度 SST 偏差の寄与を、北太平洋 SST 偏差と北大西洋 SST 偏差に分離して評価すると、それぞれ有意な気温応答は見られない。これは、北太平洋と北大西洋の SST 偏差が同時に存在することが重要であることを示唆している。以下ではそれぞれの冬の循環場偏差を議論する。

表 1 日本周辺での 850hPa 気圧面での冬季平均(DJF)気温偏差/応答 (°C). * は有意水準 5%で有意な応答を示す。

再解析/実験	DJF 2017/18	DJF 2019/20
再解析	-1.37	2.06
全球 SST	1.41*	1.51*
熱帯 SST	1.01*	0.86*
中高緯度 SST	0.54*	0.83*
北太平洋 SST	0.17	0.01
北大西洋 SST	0.28	0.09

3.2 2017/18 年冬季

2017/18 年冬季には、再解析では、熱帯上部での速度ポテンシャルは海洋大陸からインド洋東部にかけて負偏差を示し、対流活動が活発であったことを示す (図 2)。一方、全球 SST 実験での応答はインド洋と海洋大陸西部にかけて正、海洋大陸東部で負であり、対流活動の位置が再解析での偏差からずれている。正応答、つまり対流の抑制はインド洋東部での負の海面水温偏差 (図 1 上) への応答と考えられる。また、ユーラシア大陸南部から日本付近にかけての南北風偏差の列は亜熱帯ジェット上の波の存在を示唆するが、再解析での偏差と全球 SST 実験での応答では位相が異なる。

以上の応答は熱帯 SST 実験でも同様の応答を示すため、これらは熱帯の SST 偏差がもたらしたと考えられる。また、これらの応答と、再解析での偏差との違いがある理由は、観測された熱帯対流活動偏差が SST 偏差によって励起されたものではない可能性と、AGCM 中の対流活動が、熱帯インド洋東部の低 SST 偏

差に過剰に応答して抑制された可能性の 2 つある。しかしこれらのいずれかであるかは結論づけられない。また、この亜熱帯ジェット上の波は北太平洋、北米、北大西洋と続くが、再解析と全球 SST 実験とで位相は異なっている。さらに、再解析で見られるユーラシア北部の波列は AGCM 実験での応答では見られず、これらは SST 偏差によって強制されない変動であったことを示唆している。

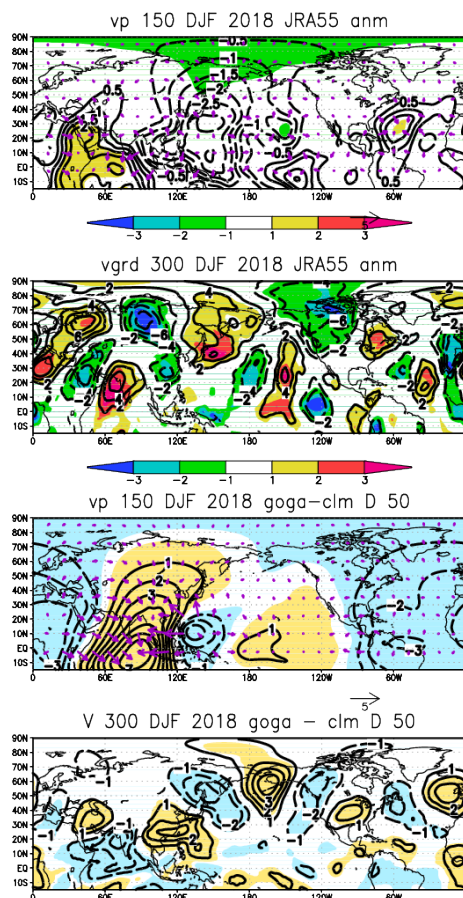


図 2 2017 年 12 月～2018 年 2 月で平均した(上) 再解析の 150-hPa 速度ポテンシャルの偏差 (等値線 $10^6 \text{ m}^2/\text{s}$). 色は規格化した偏差, 矢印は発散風偏差. (上から 2 番目) 300-hPa 南北風偏差. (3 番目) 全球 SST 実験での速度ポテンシャル応答と発散風応答, 色は有意水準 5%で有意な偏差 (黄色は正, 水色は負), (4 番目) AGCM での南北風応答.

対流圏中層の高度場偏差は、極域で高気圧性偏差を示している(図3)。東アジア付近では低気圧性偏差を示し、下層で低温偏差を伴っている(図略)。全球 SST 実験では、極域で高気圧応答を示し、再解析と整合的だが、東アジア付近では高気圧応答となり、再解析と反対符号である。この高気圧応答は熱帯 SST 偏差実験でも再現されるため、熱帯 SST が主に励起したと亜熱帯ジェット上の波に伴って生じたと考えられる。一方、太平洋西部の高気圧性偏差や、北米大陸上での低気圧性偏差とその南の高気圧性偏差は、全球 SST 実験及び熱帯 SST 実験での応答でも確認されるため、熱帯 SST 偏差がこれらの偏差に寄与したと考えられる。

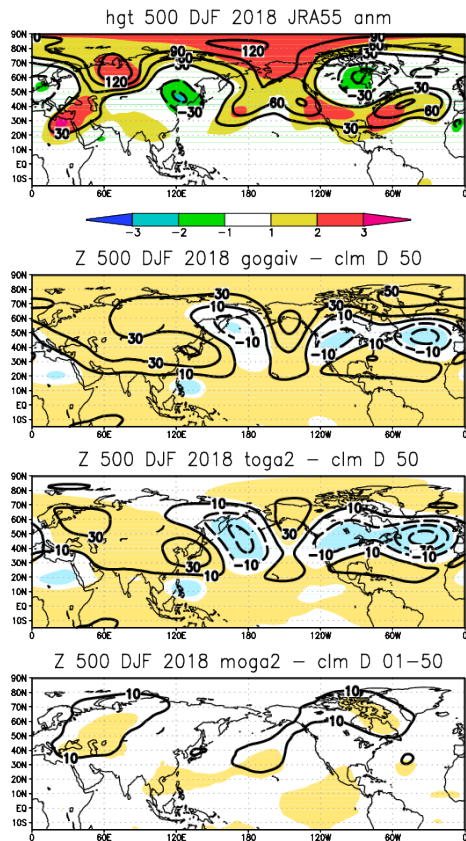


図3 2017年12月から2018年2月まで平均した、(上)再解析の500hPa高度場偏差(等値線 m)。色は規格化した偏差、(2番目)全球 SST 実験での応答、(3番目)熱帯 SST 実験での応答、(下)中高緯度 SST 実験での応答。

一方、中高緯度 SST 実験では顕著な高度場の応答は確認されないが、対流圏下層では高温応答が日本周辺に存在する(図略)。さらに北太平洋 SST 実験と北大西洋 SST 実験では日本周辺には有意な高気圧性応答と、高温応答は確認されなかった。

3.3 2019/20年冬季

2019/20年冬季には、インド洋東部に速度ポテンシャルの正偏差、赤道太平洋西部に負偏差が観測された(図4)。これらと整合的な応答が全球 SST 実験および熱帯 SST 実験で得られている。さらに、ユーラシア大陸南部から日本付近にかけての南北風偏差の列、つまり亜熱帯ジェット上の波が観測され、全球 SST 実験と熱帯 SST 実験の両者においてこれらとほぼ同様な応答が見られた。これらの対流活動の偏差と亜熱帯ジェット上の波は熱帯 SST 偏差が寄与していることを示唆している。

この波に伴い、対流圏中層の高度場は、東アジア上で高気圧性偏差を示していた(図5)。これらの偏差は全球 SST 実験、及び熱帯 SST 実験の高気圧応答と整合的であり、熱帯 SST 偏差が寄与していた可能性を示している。中高緯度 SST 実験では、東アジア上空を含む中緯度北太平洋上で高気圧応答が見られ、中緯度 SST 偏差も東アジア上空での高気圧性偏差に寄与していた可能性を示す。これらの実験はすべて対流圏下層で高温応答を伴っており、日本周辺での高温偏差は、熱帯と中高緯度の SST 偏差が寄与していたことが示唆された。

さらに北太平洋 SST 実験と北大西洋 SST 実験では、北太平洋北東部で高気圧応答が現れたが、日本周辺には有意な高温応答は確認されず、高温応答も見られなかった。

4. まとめ

日本で寒冬であった2017/18年冬季と暖冬であった2019/20年についてAGCMによる再現実験を行った。前者では寒冬を再現できず、主に熱帯での対流活動偏差をAGCMが再現できなかったことが理由と考えられる。一方、2019/20年の暖冬は再現でき、熱帯での対流

活動偏差が再現できたことが理由と考えられる。この熱帯対流活動の偏差は熱帯 SST 偏差が励起したと考えられる。また、中高緯度 SST 偏差も東アジア周辺に高気圧性偏差を励起することで、日本周辺での暖冬に寄与したと考えられる。一方で、北太平洋と北太平洋の SST 偏差を別に与えると日本周辺での高温偏差が再現できず、これらの SST 偏差の相互作用によって北太平洋上空の高気圧偏差を励起した可能性を示唆している。しかしその励起メカニズムは今後の課題である。

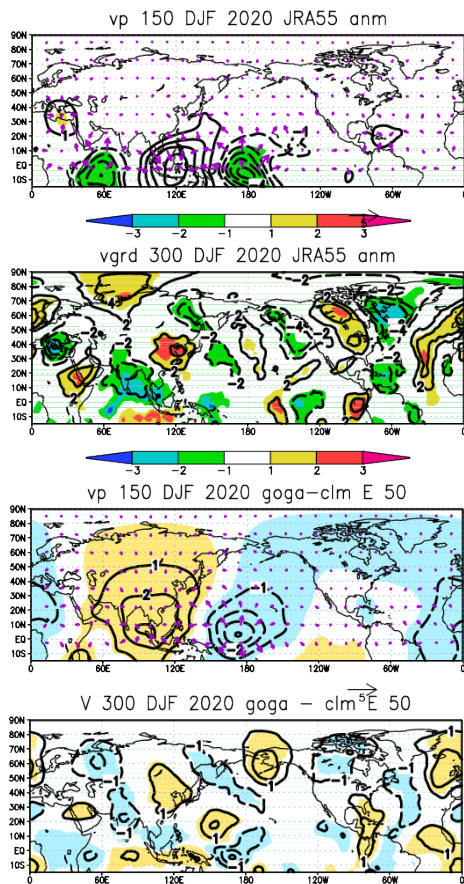


図4 図2と同様。ただし2019/20年冬季。

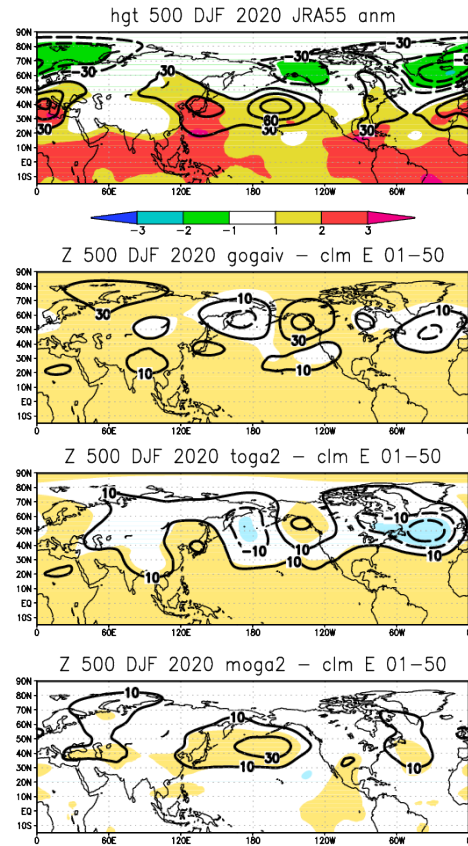


図5 図3と同様。ただし2019/20年冬季。

参考文献

- [1] 異常気象分析検討会, <https://www.jma.go.jp/jma/press/1803/05b/h30fuyunotenkou20180305.html>, (2020/7 閲覧)
- [2] Tachibana, Y., Komatsu, K.K., Alexeev, V.A. et al. Warm hole in Pacific Arctic sea ice cover forced mid-latitude Northern Hemisphere cooling during winter 2017–18. *Sci Rep* 9, 5567 (2019).
- [3] 異常気象分析検討会, <https://www.jma.go.jp/jma/press/2004/14b/kenboukai20200414.html>, (2020/7 閲覧)